

## K-10

## 非定常加熱が二液滴の自発点火時における冷炎発生位置に与える影響

Effect of transient heating on the position of cool flame appearance as spontaneous ignition on droplet pair

○西野 啓太<sup>1</sup>, 池澤 英明<sup>1</sup>, 大野 友利恵<sup>2</sup>, 齊藤 允教<sup>3</sup>, 田辺 光昭<sup>3</sup>\*Keita Nishino<sup>1</sup>, Hideaki Ikezawa<sup>1</sup>, Yurie Ohno<sup>2</sup>, Masanori Saito<sup>3</sup>, Mituaki Tanabe<sup>3</sup>

Abstract: The position of cool flame appearance at spontaneous ignition of droplet pair was investigated by two-dimensional axisymmetric calculation with and without transient heating as a basic study of *PHOENIX-II* project. The fuel was *n*-decane of 1 mm in diameter. Inter-droplet distance was 8 mm. Ambient temperature and pressure were 600 K and 0.1 MPa, respectively. The reduced reaction mechanism including 287 reactions among 77 species was employed. As a result, mixture condition was lean and OH mass fraction was large at inter-droplet area. Therefore, it is possible that OH affect cool flame appearance position.

## 1. 緒言

現在の内燃機関の多くは噴霧燃焼を用いた燃焼方式となっている。高温高压の燃焼器内で、自発点火に伴う熱発生による圧力波の増強が燃焼器の破壊に繋がるという問題点がある。噴霧燃焼は燃料液滴の微粒化によって噴霧が形成され、蒸発、自発点火、燃え広がりという複雑な物理的・化学的な過程を経る。高級炭化水素系燃料の場合、発熱量の大きい熱炎が生じる前に低温酸化反応によって微弱な発光を伴う比較的温度の低い冷炎が発生する。燃料液滴の自発点火は冷炎によって支配されるため<sup>[1]</sup>、冷炎の挙動を詳細に調べる必要がある。複雑な噴霧燃焼の予測には、計算コストの観点から安価でかつ高精度な簡略化計算モデルの開発が望まれる。一方で計算モデルを検証するためには、重力による自然対流の影響を排除した微小重力環境での実験によって得られる基準データが有用である。この実験データ取得のために *PHOENIX-II* プロジェクト<sup>[2]</sup>では観測用ロケットを用いた点火限界近傍での液滴列燃焼の実験を予定している。齊藤ら<sup>[3]</sup>はこのプロジェクトの基礎研究として簡易的モデルを用いた二液滴の数値解析を行った。また、大野らは<sup>[4]</sup>非定常加熱を考慮した二液滴の計算を行った。本研究では齊藤らのモデルと大野らのモデルを用いて二液滴の計算を行い、非定常加熱を考慮した場合と考慮していない場合での冷炎発生位置の違いについて議論した。

## 2. 計算条件及び計算方法

計算条件は二次元非定常軸対称とし、雰囲気温度は 600 K、雰囲気圧力は 0.1 MPa とした。初期液滴直径は 1 mm、液滴間距離は 8 mm とした。燃料は *n*-decane ( $C_{10}H_{22}$ ) とした。 $C_{10}H_{22}$  の化学反応モデルは、Qiu らによる簡略化モデル(77 化学種, 287 反応)<sup>[5]</sup>を用いた。燃

料質量流量と液滴表面温度の変化は Figure 1 に示す齊藤らのモデル(case 1)と Figure 2 に示す大野らの蒸発計算(case 2)を用いた。

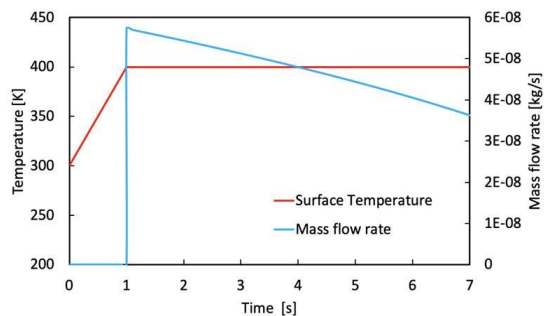


Figure 1. Time history of mass flow rate and droplet surface temperature (case 1)

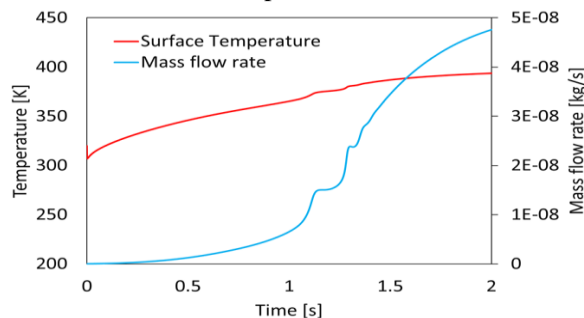


Figure 2. Time history of mass flow rate and droplet surface temperature (case 2)

計算領域中の最大温度の上昇率  $dT/dt$  が極大を迎える時間を誘導時間  $\tau$  と定義し、最大温度上昇率極大値の 95% に達した時間を  $\tau_{95}$  と定義した。

## 3. 結果および考察

Figure 3 及び Figure 4 に、 $\tau$  及び  $\tau_{95}$  における  $x$  軸上での化学種の質量分率  $Y_i$  と温度の分布図を示す。

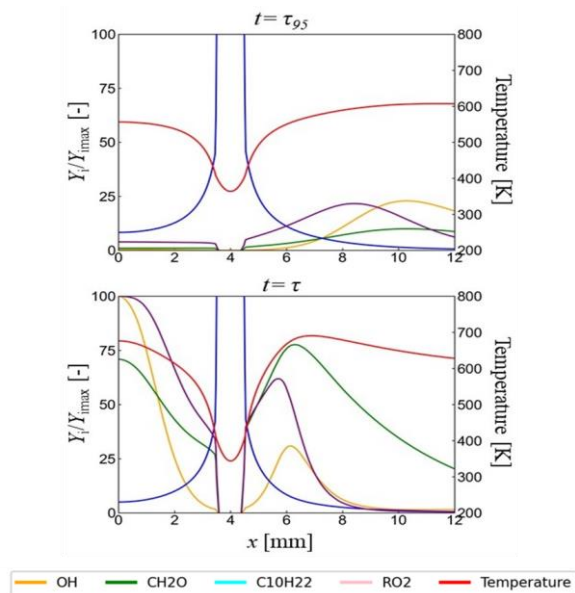


Figure 3. Species and Temperature distributions along axisymmetric boundary (case 1)

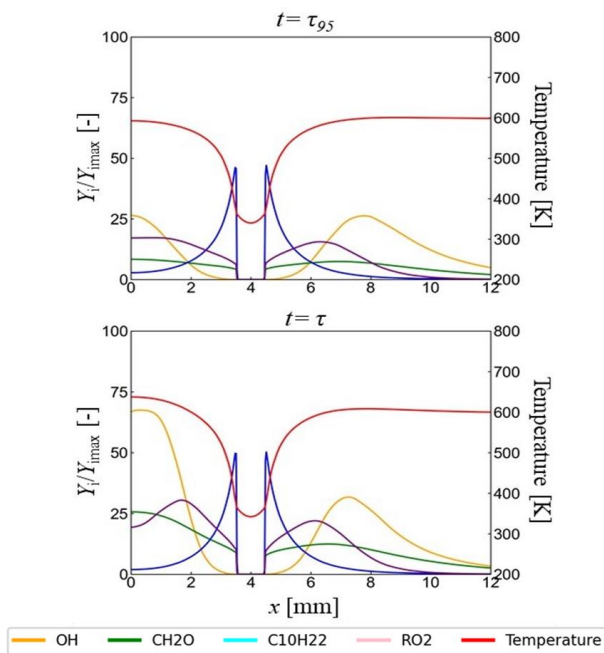


Figure 4. Species and Temperature distributions along axisymmetric boundary (case 2)

Figure 3, 4におけるx軸はFigure 5に示す通りである。

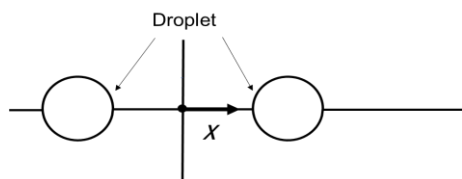


Figure 5. Schematic of the data sampling axes

Figure 3 より,  $\tau_{95}$ において case 1 では液滴の内側では OH がほとんど滞留していない. 一方で Figure 4 から, case 2 では液滴間の内側と外側で同量の OH が滞留している. 液滴間の外側と内側での温度を比較すると, case 1 では外側で温度が高く, case 2 ではどちらも同程度の温度となっている. また  $\tau$ において, どちらのケースも液滴の外側に比べて内側で多くの OH が滞留している. しかし, case 1 では液滴の外側, case 2 では液滴の内側の方で温度が高いことが確認できる. さらにどちらのケースも液滴間の内側では燃料が希薄であることが確認できる. したがって燃料が希薄で温度が高く, OH が多く滞留していることが液滴間での冷炎発生位置に影響を与えている可能性がある.

#### 4. 結言

・燃料が希薄で温度が高く, OH が多く滞留していることが液滴間の冷炎発生位置に影響を与えている可能性がある.

#### 5. 謝辞

本研究はISAS-JAXAフロントローディングプロジェクト及び小規模計画, JSPS科研費 JP19K04843及び日本大学学長特別研究よりご支援をいただきました.

#### 6. 参考文献

- [1]M.Tanabe, et. al : “Spontaneous Ignition of Liquid Droplets from a View of Non-Homogeneous Mixture Formation and Transient Chemical Reactions”, Twenty-Sixth Symposium (International) on Combustion, 1996, 1637-1643
- [2]M.Saito et.al : “Preliminary Study on the Experiment for the Spontaneous Ignition of Fuel Droplets using the TEXUS Rocket”, Twenty-Ninth JASMAC, 2017, 27A05
- [3]M.Saito et.al: “Spontaneous Ignition Behavior of *n*-Decane Fuel Droplet Array near Ignition”, Int. J. Microgravity Sci. Appl. 36, 2019
- [4]Y.Ohno et.al: “Analysis of Cool Flame Oscillation at Spontaneous Ignition on Droplet Pair using Numerical Calculation with Transient Heating”, jasmac-32,2020,OR-0708
- [5]L.Qiu, et. al : “Development of a Reduced *n*-Decane/ $\alpha$ -methylnaphthalene/Polycyclic Aromatic Hydrocarbon Mechanism and Its Application for Combustion and Soot prediction”, Energy Fuels 30, 2016, 10875-10885